

1AP20 Rec'd PCT/PTO 19 MAY 2006

- 1 -

Procédé de chargement équilibré d'une batterie  
lithium-ion ou lithium polymère

La présente invention concerne le domaine du chargement ou de la charge de batteries rechargeables, et a pour objet un procédé de chargement ou de charge équilibré des cellules d'une batterie lithium-ion ou lithium polymère.

5 Le chargement électrique optimisé de batteries comportant plusieurs cellules constitutives pose des problèmes difficiles à résoudre, notamment lorsque le nombre d'éléments ou de cellules mis(es) en série est élevé.

10 Dans le cas d'une batterie lithium-ion ou lithium polymère, s'ajoutent à ces problèmes d'optimisation de la charge des différent(e)s éléments ou cellules, des risques de détérioration irrémediables desdits éléments ou desdites cellules en cas de surcharge, notamment par surchauffe ou surtension.

15 Il est connu, d'une part, que dans les batteries qui utilisent des éléments lithium-ion ou lithium polymère en série les performances en capacité de chaque élément ou cellule après charge ne sont pas identiques et que ces différences s'accroissent de cycle en cycle de charge et décharge jusqu'à la fin de vie de la batterie concernée.

20 On sait, d'autre part, que les batteries lithium-ion et lithium polymère n'acceptent pas de surcharge à l'occasion de la charge, ni de sous charge à l'occasion de l'utilisation (décharge). La valeur de tension maximum retenue, à titre d'exemple et non limitativement, pour la surcharge pour chacun des éléments d'une batterie lithium-ion et lithium polymère en série est de 4,20 volts et la tension retenue pour stopper la  
25 décharge, et éviter ainsi la dégradation de la batterie, est de 2,70 volts.

30 On sait également que, pour chacun(e) des éléments ou cellules lithium-ion ou lithium polymère, la tension aux bornes de l'élément ou de la cellule est l'image de la capacité emmagasinée dans l'élément ou la cellule considéré(e). Cette indication de tension ne donne pas la valeur précise de la capacité en ampère/heure ou en watt/heure, mais donne un pourcentage de la capacité de l'élément considéré au moment de la mesure de cette tension.

- 2 -

La figure 1 des dessins annexés représente une courbe montrant l'évolution de la tension aux bornes d'un élément lithium-ion par rapport à sa capacité (s'agissant d'une courbe de décharge à courant constant, le temps est proportionnel au pourcentage de la capacité stockée dans l'élément Lithium-ion considéré avec : 0 sec  $\Rightarrow$  95 % (4,129 volts), 6 150 secondes  $\Rightarrow$  50 % (3,760 volts) et 12 300 secondes  $\Rightarrow$  0 % (3,600 volts). On remarque que sur une partie importante de cette courbe, la capacité est quasiment linéaire avant de se dégrader rapidement. Pour contrôler les opérations de charge et décharge d'un élément ou d'une cellule lithium-ion, on opère dans la partie quasiment linéaire ce qui permet d'affirmer que la tension est l'image de la capacité.

Compte tenu des indications développées dans les trois points précédents, on peut vérifier que, dans une batterie constituée de plus de trois à quatre éléments lithium-ion ou lithium polymère en série, la charge de la batterie sera arrêtée lorsque l'élément le plus chargé aura atteint 4,20 volts et, inversement, que lors de la décharge, on va arrêter celle-ci lorsque l'élément de moindre capacité aura atteint la tension de 2,70 volts : c'est donc l'élément qui a la capacité la plus faible qui détermine la capacité globale de la batterie. Ceci permet de comprendre que, lorsque la batterie a un nombre important d'éléments en série, le risque de ne pas exploiter la totalité de la capacité de la batterie est réel, puisque c'est l'élément le moins capacitif qui détermine de manière limitative la capacité totale de la batterie. En outre, ce phénomène s'aggrave avec l'accumulation des cycles charges/décharges.

Ce phénomène de déséquilibre de charge est essentiellement provoqué par les différences de capacité et de résistance interne entre les éléments constitutifs de la batterie, ces différences résultant de la variation de la qualité de fabrication des éléments lithium-ion ou lithium polymère.

Afin d'optimiser la capacité de la batterie dans le temps, ce qui est très important pour les coûts d'exploitation, il faut remédier au problème évoqué précédemment en réalisant, avant l'arrêt de la charge, un rééquilibrage de tous les éléments ou de toutes les cellules de la batterie. Cet équilibrage devrait permettre une charge à 100 % de tous les éléments quelle que soit leur capacité.

Dans la pratique de l'état de la technique actuel, cet équilibrage se fait en fin de charge, en dérivant le courant de charge de l'élément chargé à 100 %, c'est-à-dire lorsque celui-ci a atteint une tension de 4,20 volts.

- 3 -

Ainsi, les éléments sont ainsi arrêtés au fur et à mesure qu'ils atteignent 4,20 volts et l'on obtient ainsi une charge à 100 % de tous les éléments en fin d'opération de charge.

5 Mais cette technique connue d'équilibrage en fin de charge présente de notables inconvénients.

Ainsi, ces systèmes d'équilibrage nécessitent des résistances de puissances importantes pour pouvoir dissiper des courants conséquents, et ceci d'autant plus que le système d'équilibrage entre en action lorsque les courants de charge sont encore importants, ce qui se produit lorsque les  
10 éléments de la batterie sont très déséquilibrés.

En outre, cette forte dissipation de puissance entraîne une élévation conséquente de la température, qui peut être gênante dans le cas de batteries compactes intégrant les résistances de dérivation.

De plus, il peut arriver que, malgré l'injection de courants de charge importants vers la fin de l'opération de charge, la batterie ne soit pas équilibrée lorsque la condition de fin de charge est remplie.  
15

Par ailleurs, dans les applications de forte puissance, les temps de recharge de la batterie, notamment de recharge complète, sont longs, voire très longs. Il arrive alors fréquemment que le temps de charge effectif entre deux phases de décharge soit trop court pour terminer l'opération de charge, et la charge est alors interrompue alors que les déséquilibres entre  
20 éléments ou cellules ne sont pas encore compensés (en cas de présence d'un système d'équilibrage en fin de charge selon l'état de la technique). La répétition de ce phénomène entraîne une dégradation rapide des performances de la batterie concernée.  
25

La présente invention a pour but de proposer une solution de chargement optimisé, présentant les avantages précités et surmontant les inconvénients mentionnés précédemment en regard de l'état de la technique existant.

30 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de chargement équilibré de  $n$  cellules, avec  $n \geq 2$ , constitutives d'une batterie lithium-ion ou lithium polymère et associées en série, chaque cellule étant composée d'un élément ou de plusieurs éléments montés en parallèle, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser en permanence, dès le début de  
35 l'opération de charge de la batterie et tout au long du déroulement de cette opération, une surveillance des niveaux de charge des différentes cellules, et à effectuer, en fonction de l'évaluation préalable desdits niveaux de

- 4 -

charge, soit une alimentation uniforme de toutes les cellules, soit un équilibrage desdits niveaux de charge desdites cellules en alimentant ces dernières de manière différenciée en fonction de leurs niveaux de charge courants.

5 Les étapes de procédé évoquées ci-dessus peuvent être mises en œuvre de deux manières différentes, reposant sur deux implémentations technologiques différentes.

Ainsi, en mettant en œuvre une solution basée essentiellement sur une technologie analogique, la surveillance des niveaux de charge est effectuée de manière continue et l'alimentation différenciée est réalisée dès  
10 que, et aussi longtemps que, les différences de niveaux de charge, entre cellule(s) la(les) plus chargée(s) et cellules la(les) moins chargée(s), dépassent une valeur seuil prédéterminée.

En variante, en mettant en œuvre une solution préférée faisant intervenir un traitement numérique des signaux et une gestion du procédé  
15 par une unité de traitement numérique, la surveillance des niveaux de charge est effectuée par mesures répétées et l'alimentation différenciée appliquée pendant une durée prédéfinie, en cas de vérification des conditions de déséquilibre de niveaux de charge requises.

20 Cette seconde solution permet de simplifier à la fois l'implémentation matérielle et logicielle nécessaire à la mise en œuvre du procédé.

En relation avec cette seconde solution, le procédé consiste préférentiellement à enclencher pour chaque cellule de la batterie, les unes  
25 après les autres, de façon séquentielle pendant une durée fractionnaire du temps total de charge de la batterie, des séquences comprenant une évaluation rafraîchie du niveau de la charge de la cellule considérée, suivie, en fonction de son niveau de charge et par rapport à l'ensemble des niveaux de charge des autres cellules de la batterie, d'une alimentation uniforme ou  
30 différenciée, cela suivant un cycle répétitif tout au long de l'opération de charge.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit procédé comprend au moins l'exécution des opérations suivantes sous la gestion d'une unité de traitement numérique, et ce dès le début de la charge :

35 - évaluation, préférentiellement à intervalles réguliers, de la quantité d'énergie emmagasinée dans chaque cellule par la mesure d'un paramètre indicatif de ladite quantité ;

- 5 -

- analyse comparative des différentes quantités d'énergie évaluées ou des différentes valeurs du paramètre mesuré ;
- détermination de la cellule la plus en retard de charge et, le cas échéant, de la ou des cellules la ou les plus en avance de charge ;
- alimentation des différentes cellules montées en série de manière uniforme ou avec limitation du courant de charge pour les cellules autres que celle la plus en retard de charge ou pour la ou les cellule(s) la (les) plus en avance de charge, par dérivation de la totalité ou d'une partie dudit courant au niveau de cette ou de ces dernière(s) ;
- répétition séquentielle des différentes opérations précitées jusqu'à l'obtention d'un état de fin de charge de la batterie ou de la détection d'un défaut, d'un dysfonctionnement ou d'un dépassement de valeur seuil admissible.

Les expériences et travaux de la demanderesse ont démontré que ce procédé d'équilibrage séquentiel réparti tout au long de la charge permettait d'avoir tous les éléments ou cellules constituant la batterie chargés au même pourcentage à un instant donné de la charge, et a fortiori d'atteindre une capacité de 100 % pour tous les éléments constituant la batterie en fin de charge et ceci indépendamment de leur propre capacité.

L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un mode de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif, et expliqué avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

la figure 2 des dessins annexés est un schéma synoptique d'un dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;

la figure 3 est un schéma plus détaillé du dispositif représenté sur la figure 2, selon une variante de réalisation de l'invention ;

la figure 4 est un ordinogramme montrant schématiquement les différentes étapes du procédé selon un mode de réalisation de l'invention (dans cet ordinogramme, il faut entendre par le terme "élément", un élément ou une cellule à plusieurs éléments en parallèle) et,

la figure 5 représente des chronogrammes illustrant, à titre d'exemple non limitatif, pour une batterie de douze cellules, les opérations exécutées durant un cycle de charge avec équilibrage du procédé selon l'invention.

- 6 -

Cette dernière a pour objet un procédé de chargement ou de charge équilibré de n cellules 1, avec  $n \geq 2$ , constitutives d'une batterie lithium-ion ou lithium polymère 2 et associées en série, chaque cellule 1 étant composée d'un élément ou de plusieurs éléments montés en parallèle.

5 Conformément à un mode de réalisation avantageux de l'invention, ce procédé comprend au moins l'exécution des opérations suivantes sous la gestion d'une unité de traitement numérique, et ce dès le début de la charge :

- 10 - évaluation, préférentiellement à intervalles réguliers, de la quantité d'énergie emmagasinée dans chaque cellule 1 par la mesure d'un paramètre indicatif de ladite quantité ;
- analyse comparative des différentes quantités d'énergie évaluées ou des différentes valeurs du paramètre mesuré ;
- 15 - détermination de la cellule 1 la plus en retard de charge et, le cas échéant, de la ou des cellules 1 la ou les plus en avance de charge ;
- alimentation des différentes cellules 1 montées en série de manière uniforme ou avec limitation du courant de charge pour les cellules 1 autres que celle la plus en retard de charge ou pour la ou les cellule(s) 1 la (les) plus en avance
- 20 de charge, par dérivation de la totalité ou d'une partie dudit courant au niveau de cette ou de ces dernière(s) ;
- répétition séquentielle des différentes opérations précitées jusqu'à l'obtention d'un état de fin de charge de la batterie 2 ou de la détection d'un défaut, d'un dysfonctionnement ou
- 25 d'un dépassement de valeur seuil admissible.

Préférentiellement, le paramètre mesuré au niveau de chaque cellule 1 et utilisé pour l'évaluation de la quantité d'énergie emmagasinée dans celle-ci, est la tension aux bornes de la cellule 1 considérée.

30 Comme indiqué précédemment, les limitations du courant de charge peuvent éventuellement affecter toutes les cellules en avance de charge par rapport à la cellule la moins chargée, le cas échéant avec des degrés de limitation d'alimentation différents.

Toutefois, pour étaler davantage les phases actives d'équilibrage, l'invention prévoit avantageusement que seule(s) la ou les cellule(s) dont le ou les niveau(x) de charge est(sont) le(les) plus en avance sur celui de la cellule la moins chargée (pendant une durée fractionnaire n

- 7 -

donnée), sera(seront) soumise(s) à une limitation de sa(leur) charge (durant la durée fractionnaire  $n + 1$  suivante). Ainsi, les cellules dont le niveau de charge n'est que faiblement supérieur à celui de la cellule la moins chargée, continueront leur charge normalement.

5           La discrimination entre les cellules soumises à une limitation temporaire de la charge et celles qui ne le sont pas (pendant une durée fractionnaire de la durée totale de la charge), peut par exemple découler de la situation (en terme de valeurs) des niveaux de charge de ces cellules par rapport à une valeur seuil donnée par [valeur de la charge de la cellule la  
10 moins chargée +  $\Delta$ ].

Par ailleurs, en adoptant la stratégie de limiter le courant de charge des cellules les plus chargées tout au long de la charge de la batterie, au lieu d'attendre la fin de ladite charge, l'invention permet d'éviter tout risque de surchauffe de la batterie 2 du fait d'un équilibrage tardif et de  
15 garantir des tensions équilibrées au niveau des cellules 1 en fin de charge.

En outre, en débutant l'équilibrage dès le début de la charge et en poursuivant son action tout au long de l'opération de charge, il est possible de garantir une batterie sensiblement équilibrée tout au long de l'opération de charge, c'est-à-dire même en cas d'interruption de la charge  
20 avant son achèvement normal.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, la dérivation de courant au niveau de la ou des cellule(s) 1 la (les) plus en avance de charge est réalisée au moyen de circuits de dérivation 4 associés chacun, par un montage en parallèle, à l'une desdites cellules 1 (un circuit 4  
25 pour chaque cellule 1), lesdits circuits 4 intégrant chacun un organe de commutation 5 et, le cas échéant, au moins un composant de dissipation d'énergie électrique 6, éventuellement réglable, tel que par exemple une résistance électrique (Figures 2 et 3).

L'organe de commutation 5 pourra, par exemple, être choisi  
30 dans le groupe formé par les relais électromécanique ou électronique, les transistors bipolaires ou à effet de champ ou analogues.

En outre, la dérivation d'énergie liée à l'équilibrage de charges des différentes cellules 1 étant répartie sur toute la durée de la charge, le composant de commutation 5, ainsi que le composant de dissipation 6  
35 associé, pourront être optimisés.

Conformément à un mode de réalisation préféré de l'invention, le chargement avec équilibrage séquentiel consiste plus précisément à

- 8 -

réaliser, en les répétant tout au long de la charge de la batterie 2, les opérations suivantes :

- 5 a) scruter une par une toutes les cellules 1 de la batterie 2 en mesurant les tensions à leurs bornes, cela sans que les résistances 6 de dérivation ou d'équilibrage ne soient connectées ;
- b) détecter la cellule 1 la plus en retard de charge ;
- 10 c) détecter les cellules 1 qui, par rapport à la cellule 1 la moins chargée ou la plus en retard de charge, ont une surcharge supérieure à une valeur seuil prédéterminée d'écart de capacité, par exemple correspondant à une différence de tension (dVs) de 10 mV ;
- 15 d) connecter individuellement chaque cellule 1 détectée avec une surcharge supérieure à la valeur seuil à une résistance d'équilibrage 6 correspondante, de manière à aboutir à une diminution du courant de charge pour chacune des cellules 1 concernées, par exemple d'environ 10 %, pendant une durée séquentielle prédéterminée, par exemple de deux secondes ;
- 20 e) à déconnecter les résistances d'équilibrage 6 de toutes les cellules 1 après écoulement de la durée séquentielle prédéterminée ;
- f) à effectuer à nouveau les étapes a) à e) après écoulement d'un délai de stabilisation des tensions des cellules 1.

25 La charge de la batterie est arrêtée normalement lorsque l'intensité du courant de charge global de l'ensemble des cellules de cette dernière descend en dessous d'une valeur seuil prédéfinie, par exemple à 50 mA.

30 A titre d'exemple de mise en œuvre pratique de l'invention, les puissances des différents circuits de dérivation 4 sont choisies proches des valeurs fournies par la formule suivante :

$$\text{Psd max} = \frac{V_{\text{max cell}} * \% * AH}{Tc}$$

35 dans laquelle :

Psd max = puissance maximum optimisée à dissiper exprimée en watt ;



- 9 -

V<sub>max</sub> cell = tension maximum mesurée durant la charge aux bornes d'une cellule exprimée en volt ;

% = rapport exprimé en pourcentage, correspondant à l'écart maximum entre deux cellules que l'on souhaite rattraper sur une charge ;

5

AH = capacité nominale batterie exprimée en Ah (Ampère-heure) ;

T<sub>c</sub> = temps de charge batterie exprimé en heure.

De plus, pour aboutir à une régulation précise et progressive de la charge de chaque cellule 1, la tension aux bornes de chaque cellule 1 est mesurée de manière précise par un ensemble 7 de modules de mesure 7' correspondant, dont les signaux de sortie sont transmis, avantageusement après numérisation, à l'unité de traitement numérique 3, cette dernière commandant, dans le cycle suivant, les organes de commutation 5 des différents circuits de dérivation 4 en fonction de l'évolution comparative desdits signaux de sortie fournis par les modules 7'.

Conformément à un mode de réalisation très avantageux de l'invention, ressortant à titre d'exemple des figures 4 et 5, les opérations sont répétées, durant toute l'opération de charge en tant que boucle cyclique formée de deux demi-cycles opérationnels, exécutés successivement à chaque bouclage de cycle, un premier demi-cycle comprenant l'exécution consécutive des opérations suivantes : lecture successive des tensions des différentes cellules 1 et enclenchement, décalé dans le temps, de la résistance d'équilibrage 6 pour chaque cellule 1 dont la différence de tension (dV) d'avec la cellule 1 la plus en retard de charge du cycle précédent est supérieure à une valeur seuil (dVs), et le second demi-cycle comprenant les opérations suivantes : déconnexions successives des résistances d'équilibrage 6 des différentes cellules 1 et attente de la stabilisation des tensions des différentes cellules 1 avant leur lecture durant le premier demi-cycle du cycle suivant, les deux demi-cycles présentant préférentiellement des durées sensiblement similaires, par exemple d'environ 2s.

Grâce aux répétitions cycliques des opérations des deux demi-cycles (avec une durée de cycle de par exemple 4 s), tout au long de la procédure de charge de la batterie 2, c'est-à-dire jusqu'à l'occurrence d'un événement de fin de charge ou d'une information de sécurité, toutes les cellules 1 (et l'élément ou les éléments composant chacune de ces dernières)

- 10 -

présentent à tout moment une faible dispersion de capacité (du fait des connexions de charge constantes entre cellules) et récupèrent de manière optimale le maximum de leurs performances.

5 En outre, le procédé selon l'invention permet d'accepter en début de charge des différences de niveaux de charge importantes entre cellules 1, le "rattrapage" ou l'équilibrage étant réparti sur la durée totale de la procédure de charge de la batterie 2.

10 Selon une première variante, il peut être prévu que la valeur seuil de différence de tension dVs consiste en une première valeur fixe prédéterminée V1, par exemple 10 mV, si la différence de tension dV entre la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus élevée et la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus faible est inférieure à une deuxième valeur fixe prédéterminée V2, supérieure à la première valeur seuil prédéterminée V1, par exemple 100 mV.

15 En outre, il peut alors également être prévu que, si la différence de tension dV entre la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus élevée et la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus faible est supérieure à une deuxième valeur fixe prédéterminée V2, par exemple 100 mV, la valeur seuil de différence de tension dVs consiste en une troisième valeur fixe prédéterminée V3 inférieure à ladite deuxième valeur V2, par  
20 exemple 30 mV.

Préférentiellement, la troisième valeur fixe prédéterminée V3 est supérieure à ladite première valeur fixe prédéterminée V1.

25 Selon une seconde variante, il peut, de manière alternative, être prévu que la valeur seuil de différence de tension dVs correspond à une fraction donnée de la différence de tension dV, mesurée durant le cycle précédent entre la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus élevée et la tension de la cellule 1 présentant la tension la plus faible, si durant le cycle en cours ladite différence de tension dV est encore supérieure à une  
30 quatrième valeur fixe prédéterminée V4, par exemple 10 mV.

Avantageusement dans chacune des deux variantes précitées, et comme déjà mentionné précédemment, les mesures des tensions au niveau des différentes cellules 1 ne sont effectuées qu'après écoulement d'un délai donné, par exemple 2 secondes, suite à la suppression des dérivations de  
35 courant, de manière à autoriser une stabilisation des tensions aux bornes desdites cellules 1.

- 11 -

Afin de préserver les cellules 1 de la batterie 2 de possibles expositions à des surtensions, le programme de gestion de la charge, dont l'ordinogramme peut par exemple correspondre à celui représenté sur la figure 4, peut comporter l'exécution d'un certain nombre de tests avant le  
5 début de la charge et au cours et en fin de charge.

Ainsi, le procédé de charge peut consister, au début, avant le démarrage de l'exécution des opérations, à mesurer la tension à vide  $V_0$  du chargeur 8 branché sur la batterie 2 en vue de sa charge, et à arrêter ledit procédé de charge, avec éventuellement déclenchement d'une alarme  
10 correspondante et/ou affichage d'un message, si ladite tension à vide  $V_0$  est supérieure à  $[n \times \text{tension maximale admissible } V_{\text{max}} \text{ pour chaque cellule } 1]$ .

De même, ledit procédé peut également consister avant l'exécution d'une boucle ou d'un cycle suivant(e), à vérifier si l'une au moins  
15 des cellules 1 de la batterie 2 présente à ses bornes une tension supérieure à la tension maximale admissible  $V_{\text{max}}$  (par exemple et non limitativement 4,23 V) et, dans l'affirmative, à interrompre le procédé de charge, éventuellement avec déclenchement d'une alarme correspondante et/ou affichage d'un message.

20 La présente invention a également pour objet un dispositif pour la mise en œuvre du procédé décrit précédemment, dont les principaux éléments constitutifs sont représentés schématiquement sur les figures 2 et 3.

Ce dispositif est essentiellement constitué, d'une part, par un  
25 ensemble 7 de modules 7' de mesure de la tension associés chacun à une des cellules 1 en série formant la batterie 2 et mesurant les tensions aux bornes de celles-ci, d'autre part, par une pluralité de circuits de dérivation 4 montés chacun en parallèle aux bornes d'une cellule 1 correspondante et pouvant chacun être ouvert et fermé sélectivement, et, enfin par une unité 3 de  
30 traitement numérique et de gestion du procédé, ladite unité 3 recevant les signaux de mesure dudit ensemble 7 de modules de mesure de la tension 7' et commandant l'état [fermé / ouvert] de chaque circuit de dérivation 4.

Les modules 7' consisteront par exemple en des circuits de mesure différentielle de tension à amplificateur opérationnel, avec une  
35 précision de mesure d'au moins 50 mV.

Avantageusement, chaque circuit de dérivation 4 comprend un organe de commutation 5, formant interrupteur et dont l'état est commandé

- 12 -

par l'unité de traitement numérique 3 et, le cas échéant, au moins un composant 6 de dissipation d'énergie électrique, tel que par exemple une ou des résistance(s).

Comme le montre la figure 3 des dessins annexés, et selon un mode de réalisation préféré de l'invention, l'ensemble 7 de modules 7' de mesure de la tension comprend, d'une part, n modules analogiques 7' de mesure de la tension, associé chacun directement à une cellule 1 de la batterie 2, d'autre part, à un circuit multiplexeur 9 dont les entrées sont reliées aux sorties desdits modules 7' et, enfin, un circuit convertisseur analogique/numérique 10 relié en entrée à la sortie du circuit multiplexeur 9 et en sortie à l'unité de traitement numérique et de gestion 3.

En relation avec une application préférée, mais non limitative de l'invention, le dispositif représenté sur les figures 2 et 3 peut être avantageusement intégré dans un ensemble d'outil électrique autonome de puissance.

A ce sujet, il convient de noter que les circuits de dérivation 4 associés individuellement aux cellules 1 de la batterie 2, pourront également être utilisés pour éventuellement ajuster les charges desdites cellules 1 à un niveau compatible avec stockage longue durée, sans utilisation, de ladite batterie 2.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés aux dessins annexés. Des modifications restent possibles, notamment du point de vue de la constitution des divers éléments ou par substitution d'équivalents techniques, sans sortir pour autant du domaine de protection de l'invention.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de chargement équilibré de  $n$  cellules, avec  $n \geq 2$ , constitutives d'une batterie lithium-ion ou lithium polymère et associées en série, chaque cellule étant composée d'un élément ou de plusieurs éléments montés en parallèle, procédé caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser en permanence, dès le début de l'opération de charge de la batterie (2) et tout au long du déroulement de cette opération, une surveillance des niveaux de charge des différentes cellules (1), et à effectuer, en fonction de l'évaluation préalable desdits niveaux de charge, soit une alimentation uniforme de toutes les cellules (1), soit un équilibrage desdits niveaux de charge desdites cellules (1) en alimentant ces dernières de manière différenciée en fonction de leurs niveaux de charge courants.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à enclencher pour chaque cellule (1) de la batterie, les unes après les autres, de façon séquentielle, pendant une durée fractionnaire du temps total de charge de la batterie (2), des séquences comprenant une évaluation rafraîchie du niveau de la charge de la cellule (1) considérée, suivie, en fonction de son niveau de charge et par rapport à l'ensemble des niveaux de charge des autres cellules (1) de la batterie, d'une alimentation uniforme ou différenciée, cela suivant un cycle répétitif tout au long de l'opération de charge.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend au moins l'exécution des opérations suivantes sous la gestion d'une unité de traitement numérique (3), et ce dès le début de la charge :

- évaluation, préférentiellement à intervalles réguliers, de la quantité d'énergie emmagasinée dans chaque cellule (1) par la mesure d'un paramètre indicatif de ladite quantité ;
- analyse comparative des différentes quantités d'énergie évaluées ou des différentes valeurs du paramètre mesuré sur chaque cellule (1) ;
- détermination de la cellule (1) la plus en retard de charge et, le cas échéant, de la ou des cellules (1) la ou les plus en avance de charge ;
- alimentation des différentes cellules (1) montées en série de manière uniforme ou avec limitation du courant de charge

- 14 -

pour les cellules (1) autres que celle la plus en retard de charge ou pour la ou les cellule(s) (1) la (les) plus en avance de charge, par dérivation de la totalité ou d'une partie dudit courant au niveau de cette ou de ces dernière(s) ;

- 5                   - répétition séquentielle des différentes opérations précitées jusqu'à l'obtention d'un état de fin de charge de la batterie (2) ou de la détection d'un défaut, d'un dysfonctionnement ou d'un dépassement de valeur seuil admissible.

10               4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le paramètre mesuré au niveau de chaque cellule (1) et utilisé pour l'évaluation de la quantité d'énergie emmagasinée dans celle-ci, est la tension aux bornes de la cellule (1) considérée.

15               5. Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en ce que la dérivation de courant au niveau de la ou des cellule(s) (1) la (les) plus en avance de charge est réalisée au moyen de circuits de dérivation (4) associés chacun, par un montage en parallèle, à l'une desdites cellules (1), lesdits circuits (4) intégrant chacun un organe de commutation (5) et, le cas échéant, au moins un composant de dissipation d'énergie (6), éventuellement réglable, tel que par exemple une résistance  
20               électrique.

6. Procédé selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que le chargement avec équilibrage séquentiel consiste plus précisément à réaliser, en les répétant tout au long de la charge de la batterie (2), les opérations suivantes :

- 25               a) scruter une par une toutes les cellules (1) de la batterie (2) en mesurant les tensions à leurs bornes, cela sans que les résistances (6) de dérivation ou d'équilibrage ne soient connectées ;
- 30               b) détecter la cellule (1) la plus en retard de charge ;
- c) détecter les cellules (1) qui, par rapport à la cellule (1) la moins chargée ou la plus en retard de charge, ont une surcharge supérieure à une valeur seuil prédéterminée d'écart de capacité, par exemple correspondant à une différence de tension (dVs) de 10 mV ;
- 35               d) connecter individuellement chaque cellule (1) détectée avec une surcharge supérieure à la valeur seuil à une résistance d'équilibrage (6) correspondante, de manière à aboutir à

- 15 -

une diminution du courant de charge pour chacune des cellules (1) concernées, par exemple d'environ 10 %, pendant une durée séquentielle prédéterminée, par exemple de deux secondes ;

- 5 e) à déconnecter les résistances d'équilibrage (6) de toutes les cellules (1) après écoulement de la durée séquentielle prédéterminée ;
- f) à effectuer à nouveau les étapes a) à e) après écoulement d'un délai de stabilisation des tensions des cellules (1).

10

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la charge de la batterie (2) est arrêtée normalement lorsque l'intensité du courant de charge global de l'ensemble des cellules (1) de cette dernière descend en dessous d'une valeur seuil prédéfinie, par exemple à 50 mA.

15

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que la tension aux bornes de chaque cellule (1) est mesurée de manière précise par un ensemble (7) de modules de mesure (7') correspondant, dont les signaux de sortie sont transmis, avantageusement après numérisation, à l'unité de traitement numérique (3), cette dernière commandant, dans le cycle suivant, les organes de commutation (5) des différents circuits de dérivation (4) en fonction de l'évolution comparative desdits signaux de sortie fournis par les modules (7').

20

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que les opérations sont répétées, durant toute l'opération de charge, en tant que boucle cyclique formée de deux demi-cycles opérationnels, exécutés successivement à chaque bouclage de cycle, un premier demi-cycle comprenant l'exécution consécutive des opérations suivantes : lecture successive des tensions des différentes cellules (1) et enclenchement, décalé dans le temps, de la résistance d'équilibrage (6) pour chaque cellule (1) dont la différence de tension (dV) d'avec la cellule (1) la plus en retard de charge du cycle précédent est supérieure à une valeur seuil (dVs), et le second demi-cycle comprenant les opérations suivantes : déconnexions successives des résistances d'équilibrage (6) des différentes

25

30

35

cellules (1) et attente de la stabilisation des tensions des différentes cellules

- 16 -

(1) avant leur lecture durant le premier demi-cycle du cycle suivant, les deux demi-cycles présentant préférentiellement des durées sensiblement similaires, par exemple d'environ 2s.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la  
5 valeur seuil de différence de tension (dVs) consiste en une première valeur fixe prédéterminée (V1), par exemple 10 mV, si la différence de tension (dV) entre la tension de la cellule (1) présentant la tension la plus élevée et la tension de la cellule (1) présentant la tension la plus faible est inférieure à une deuxième valeur fixe prédéterminée (V2), supérieure à la première  
10 valeur seuil prédéterminée (V1), par exemple 100 mV.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que, si la différence de tension (dV) entre la tension de la cellule (1) présentant la tension la plus élevée et la tension de la cellule (1) présentant la tension la plus faible est supérieure à une deuxième valeur fixe prédéterminée (V2),  
15 par exemple 100 mV, la valeur seuil de différence de tension (dVs) consiste en une troisième valeur fixe prédéterminée (V3) inférieure à ladite deuxième valeur (V2), par exemple 30 mV.

12. Procédé selon les revendications 10 et 11, caractérisé en ce que la troisième valeur fixe prédéterminée (V3) est supérieure à ladite  
20 première valeur fixe prédéterminée (V1).

13. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la valeur seuil de différence de tension (dVs) correspond à une fraction donnée de la différence de tension (dV), mesurée durant le cycle précédent entre la tension de la cellule (1) présentant la tension la plus élevée et la  
25 tension de la cellule (1) présentant la tension la plus faible, si durant le cycle en cours ladite différence de tension (dV) est encore supérieure à une quatrième valeur fixe prédéterminée (V4), par exemple 10 mV.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que les mesures des tensions au niveau des différentes  
30 cellules (1) ne sont effectuées qu'après écoulement d'un délai donné, par exemple 2 secondes, suite à la suppression des dérivations de courant, de manière à autoriser une stabilisation des tensions aux bornes desdites cellules (1).

15. Procédé selon la revendication 5 ou l'une quelconque des  
35 revendications 6 à 14, prise en combinaison avec la revendication 5, caractérisé en ce que les puissances des différents circuits de dérivation (4) sont choisies proches des valeurs fournies par la formule :



- 17 -

$$\text{Psd max} = \frac{\text{V max cell} * \% * \text{AH}}{\text{Tc}}$$

dans laquelle :

5 Psd max = puissance maximum optimisée à dissiper exprimée en watt ;

Vmax cell = tension maximum mesurée durant la charge aux bornes d'une cellule exprimée en volt ;

10 % = rapport exprimé en pourcentage, correspondant à l'écart maximum entre deux cellules que l'on souhaite rattraper sur une charge ;

AH = capacité nominale de la batterie exprimée en Ah (Ampèreheure) ;

Tc = temps de charge batterie exprimé en heure.

15 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 15, caractérisé en ce qu'il consiste, au début, avant le démarrage de l'exécution des opérations, à mesurer la tension à vide (Vo) d'un chargeur (8) branché sur la batterie (2) en vue de sa charge, et à arrêter ledit procédé de chargement, avec éventuellement déclenchement d'une alarme  
20 correspondante et/ou affichage d'un message, si ladite tension à vide (Vo) est supérieure à [ n x tension maximale admissible (Vmax) pour chaque cellule (1)].

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 16, caractérisé en ce qu'il consiste avant l'exécution d'une boucle suivante, à  
25 vérifier si l'une au moins des cellules (1) de la batterie (2) présente à ses bornes une tension supérieure à la tension maximale admissible (Vmax) et, dans l'affirmative, à interrompre le procédé de chargement, éventuellement avec déclenchement d'une alarme correspondante et/ou affichage d'un message.

30 18. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce qu'il est essentiellement constitué, d'une part, par un ensemble (7) de modules (7') de mesure de la tension associés chacun à une des cellules (1) en série formant la batterie (2) et mesurant les tensions aux bornes de celles-ci,  
35 d'autre part, par une pluralité de circuits de dérivation (4) montés chacun en parallèle aux bornes d'une cellule (1) correspondante et pouvant chacun être ouvert et fermé sélectivement, et, enfin par une unité (3) de traitement

- 18 -

numérique et de gestion du procédé, ladite unité (3) recevant les signaux de mesure dudit ensemble (7) de modules de mesure de la tension (7') et commandant l'état [fermé / ouvert] de chaque circuit de dérivation (4).

- 5 19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que chaque circuit de dérivation (4) comprend un organe de commutation (5), formant interrupteur et dont l'état est commandé par l'unité de traitement numérique (3) et, le cas échéant, au moins un composant (6) de dissipation d'énergie électrique, tel que par exemple une ou des résistance(s).

- 10 20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 et 19, caractérisé en ce que l'ensemble (7) de modules (7') de mesure de la tension comprend, d'une part, n modules analogiques (7') de mesure de la tension, associé chacun directement à une cellule (1) de la batterie (2), d'autre part, à un circuit multiplexeur (9) dont les entrées sont reliées aux sorties desdits modules (7') et, enfin, un circuit convertisseur  
15 analogique/numérique (10) relié en entrée à la sortie du circuit multiplexeur (9) et en sortie à l'unité de traitement numérique et de gestion (3).

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, caractérisé en ce qu'il est intégré dans un ensemble d'outil électrique autonome de puissance.

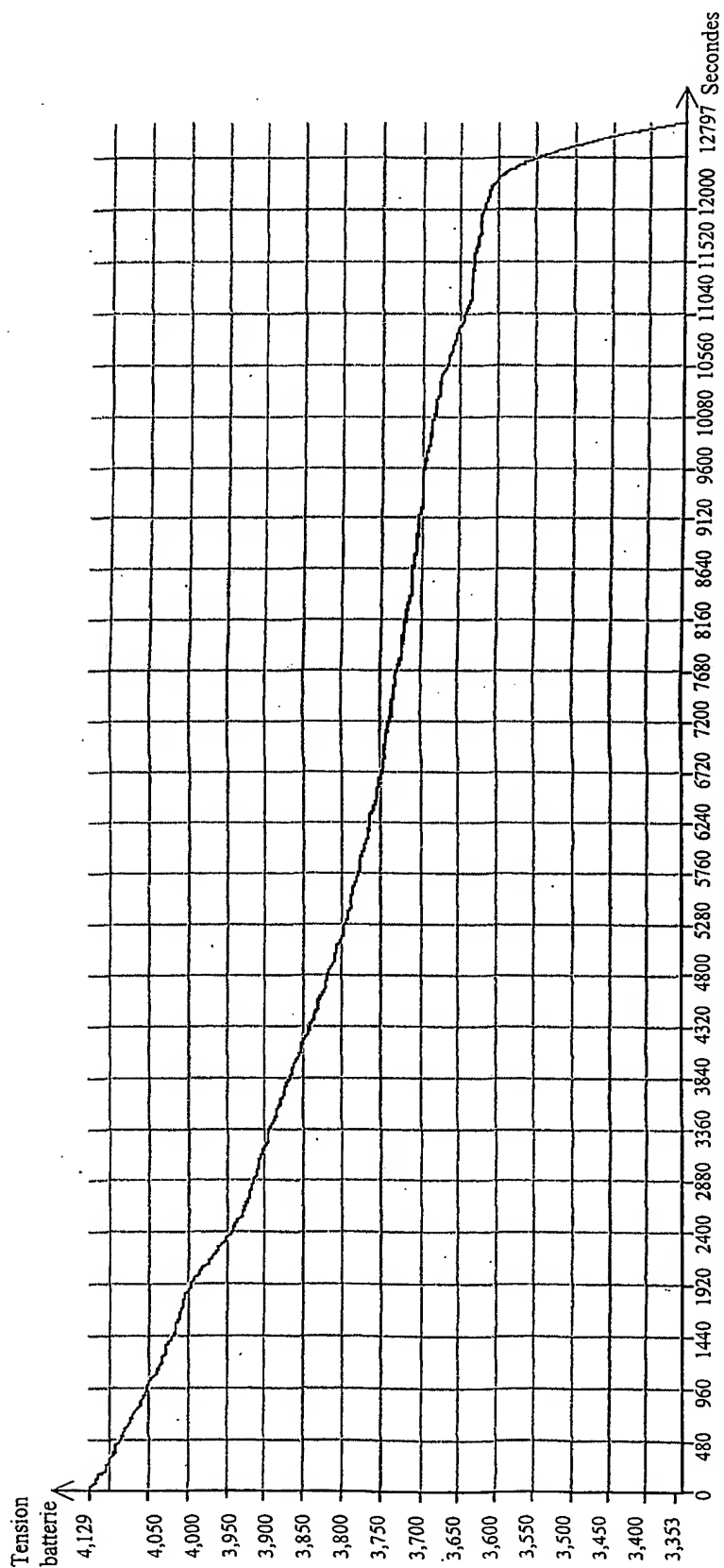
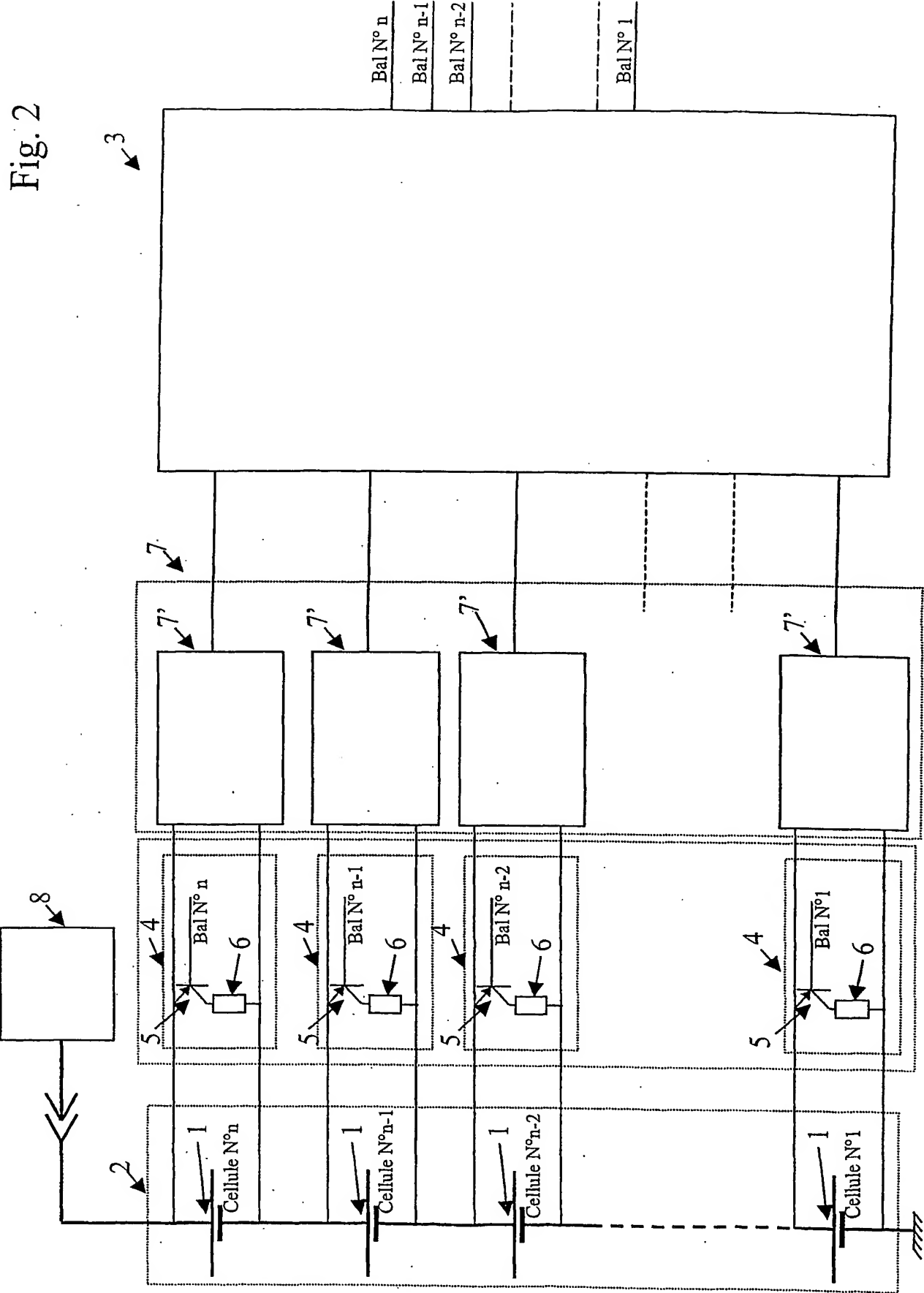


Fig. 1

Fig. 2



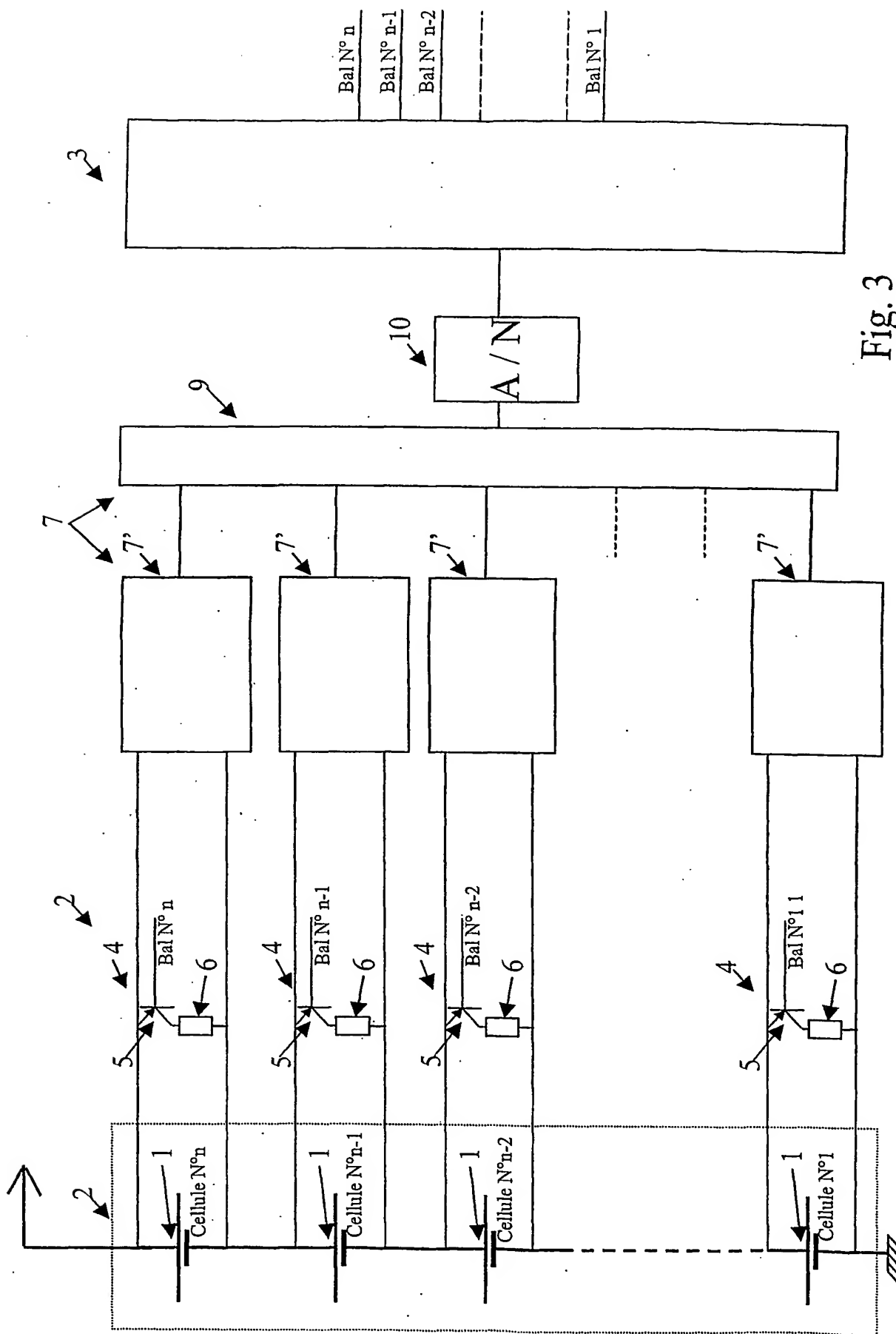


Fig. 3

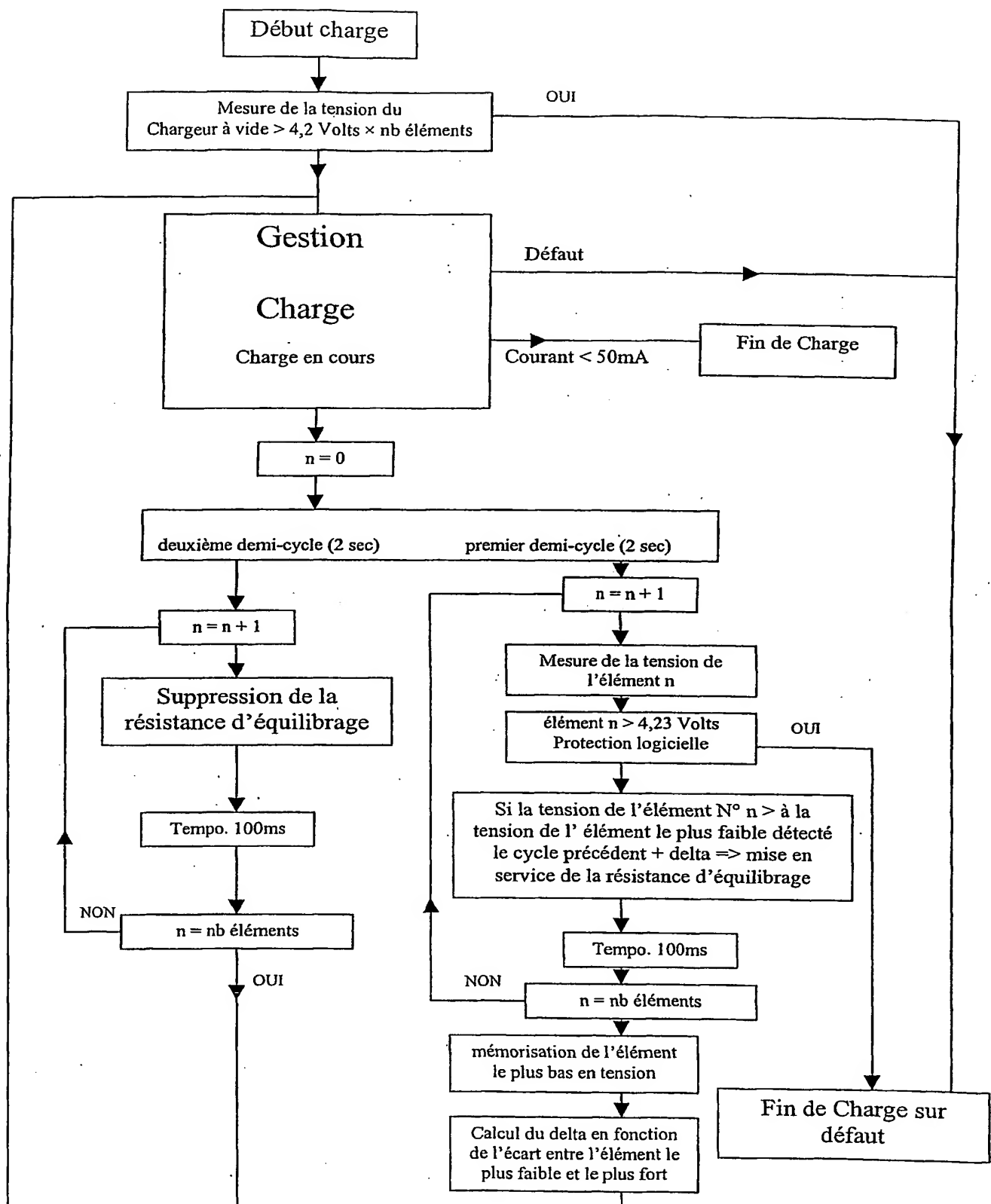


Fig. 4

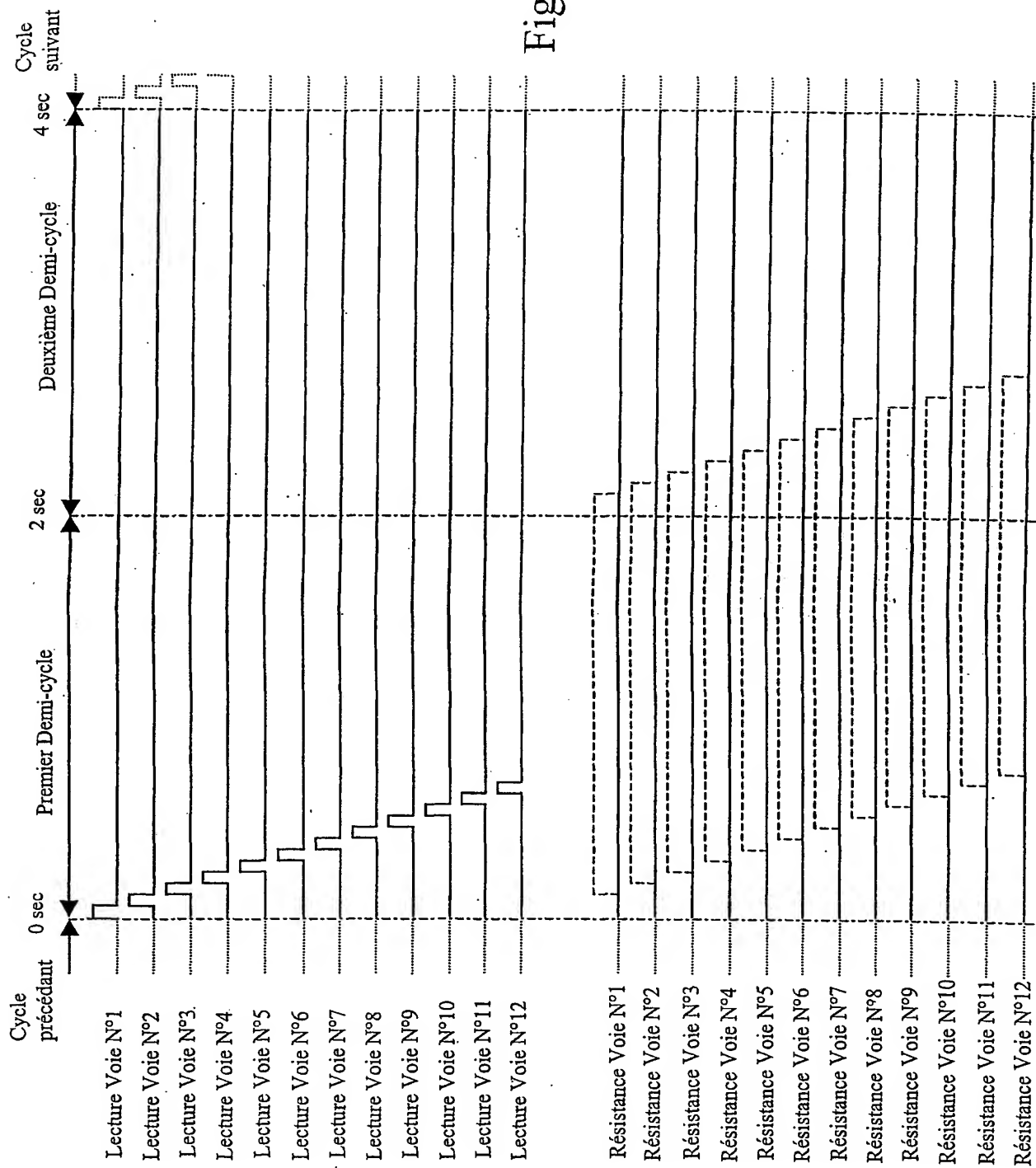


Fig. 5